

BRUNO COZZI (\*)

## OSSERVAZIONI SULLA MORFOLOGIA DELLA COLONNA VERTEBRALE NEI CETACEI

**Riassunto.** — Vengono misurate ed esaminate le colonne vertebrali di 22 esemplari di 22 specie diverse di Cetacei e di un Sirenio. I grafici ottenuti utilizzando la formula di SLIJPER (1946) hanno permesso una classificazione morfo-funzionale del rachide dei Cetacei in relazione alla dinamica del nuoto. All'interno delle famiglie le colonne vertebrali dei Cetacei si presentano simili per morfologia e funzione. Similitudini possono essere riscontrate in caso di stretti rapporti filitici.

**Abstract.** — *Some observations on comparative morphology of cetacean vertebral columns.*

Vertebral columns of cetaceans are dealt with, and a wide choice of the most representative species has been operated. Each vertebra of the column has been measured and results transposed in graphics according to SLIJPER's formula (1946). Comparisons made among species belonging to the same family show uniformity of vertebral column morphology. Families which share phyletic affinity may have some common points. Discussions are made about the role played by dynamic locomotion in the developing of certain kinds of vertebral column. A classification of cetacean vertebral column is made upon the data obtained by the Author.

### *Introduzione e scopi.*

Numerosi AA. hanno studiato gli adattamenti subiti dai Cetacei per la vita in ambiente acquatico, con particolare riferimento alla morfologia dello scheletro (VAN BENEDEN & GERVAIS 1868), SLIJPER 1946, HOSOKAWA 1951, OMURA & coll. 1962, 1970, 1971 a, 1971 b, 1975, ARVY 1976, 1979, DE SMET 1977, CAGNOLARO 1977, CAGNOLARO & NOTARBARTOLO DI SCIARA 1979). Alcuni AA. si sono pure occupati della possibilità

---

(\*) Istituto di Anatomia degli Animali Domestici con Istologia ed Embriologia, Università degli Studi di Milano, Via Celoria 10, 20133 Milano.

Collaboratore del Museo Civico di Storia Naturale di Milano, Corso Venezia 55, 20122 Milano.

di elaborare graficamente alcuni parametri della colonna vertebrale dei Mammiferi, e dei Cetacei in modo particolare (SLIJPER 1946, GRASSÉ 1958, OMURA 1971 a), al fine di evidenziare specializzazioni funzionali diverse nei vari gruppi di Mammiferi. Questo tipo di indagine assume particolare importanza all'interno dell'Ordine Cetacea, in cui, scomparsi gli arti posteriori, la colonna vertebrale diviene nel tratto toraco-lombare di fondamentale importanza nella dinamica locomotoria. Si è pertanto ritenuto opportuno analizzare nel presente lavoro un grande numero di specie (22) di Cetacei, suddivise in famiglie (7), per poter impostare un'analisi comparativa di più ampio respiro. A scopo di raffronto è stato considerato anche il rachide di un Sirenio.

Le caratteristiche particolari della colonna vertebrale dei Cetacei possono essere così riassunte: mancanza del sacro e scomparsa di un bacino funzionale, con persistenza di soli residui pelvici (e femorotibiali nel genere *Balaena*); grande estensione del segmento lombo-caudale, tra tutti il più mobile; rigidità relativa del rachide, assenza quasi totale di mobilità del tratto cervicale (ad eccezione dei *Platanistidae*), e toracico; presenza di emapofisi in corrispondenza di buona parte del tratto caudale.

La morfologia del rachide nei Cetacei segue un modello abbastanza costante, con una grande curvatura a concavità ventrale, più o meno accentuata nelle varie specie, ed in generale più evidente nelle specie di minor mole. Una seconda curvatura di segno opposto può essere rintracciata nell'ultimo tratto caudale. In questi animali la colonna vertebrale ha quindi una configurazione « ad arco » (molto evidente nel genere *Grampus*), teso da una « corda » rappresentata dalla muscolatura addominale. I fattori che possono concorrere a modificare la morfologia della colonna vertebrale dei Cetacei possono essere così schematizzati: la mole ed il peso diverso nelle varie specie; la forma di tutto il corpo ed in modo particolare delle pinne pettorali e caudale; la forma ed il volume relativo del capo; il numero e la forma delle vertebre.

Grande variabilità esiste nei Cetacei all'interno delle famiglie, generi ed addirittura specie rispetto al numero di vertebre. Nella maggior parte dei casi le variazioni avvengono a carico del tratto caudale. Sovente, però, negli esemplari conservati nei Musei e Collezioni di studio vengono a mancare alcune vertebre, specialmente dell'ultimo tratto caudale.

#### *Materiali e metodi.*

Sono state rilevate le misure dei corpi vertebrali di 16 specie di Cetacei e di 1 Sirenio, i cui scheletri sono conservati nei Musei di Storia

Naturale e di Zoologia di Amsterdam, Leiden, Genova e Milano <sup>(1)</sup>; si sono utilizzati anche dati pubblicati da altri AA. relativi alle colonne vertebrali di altre importanti specie di Cetacei (OMURA & coll. 1962, 1970, 1971 b, 1975, CAGNOLARO 1977, CAGNOLARO & NOTARBARTOLO DI SCIARA, 1979). I Cetacei esaminati e la provenienza del materiale vengono riportati qui di seguito.

Ordine Cetacea. Sottordine Mysticeti. Famiglia *Balaenidae*: *Eubalaena glacialis* (Borowski 1781), da OMURA e coll. 1971 b. Famiglia *Balaenopteridae*: *Balaenoptera musculus brevicauda* (Ichihara, 1966), da OMURA & coll. 1970; *Balaenoptera physalus* (Linn., 1758), da CAGNOLARO 1977; *Balaenoptera borealis* (Lesson, 1828), Mus. Zool. Univ. Amsterdam; *Balaenoptera edeni* (Anderson, 1878), da CAGNOLARO & coll. 1979; *Balaenoptera acutorostrata* (Lacépède, 1804), da OMURA 1975; *Megaptera novaeangliae* (Borowski, 1781), Mus. St. Nat. Leiden. Sottordine Odontoceti. Famiglia *Physeteridae*: *Physeter macrocephalus* (Linn., 1758), da OMURA & coll. 1962; *Kogia breviceps* (Blainville, 1833), Mus. Zool. Univ. Amsterdam, Famiglia *Ziphiidae*: *Ziphius cavirostris* (Cuvier, 1823), Mus. St. Nat. Genova e Milano; *Mesoplodon bidens* (Sowerby, 1804), Mus. St. Nat. Leiden; *Mesoplodon grayi* (Von Haast, 1876), Mus. Zool. Univ. Amsterdam; *Hyperoodon ampullatus* (Forster, 1770), Mus. St. Nat. Leiden. Famiglia *Delphinidae*: *Delphinus delphis* (Linn., 1758), Mus. St. Nat. Genova; *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), Mus. St. Nat. Genova; *Lagenorhynchus albirostris* (Gray, 1846), Mus. St. Nat. Leiden; *Grampus griseus* (Cuvier, 1812), Mus. St. Nat. Genova; *Globicephala melaena* (Traill, 1809), Mus. St. Nat. Milano; *Orcinus orca* (Linn., 1758), Mus. St. Nat. Leiden. Famiglia *Monodontidae*: *Monodon monoceros* (Linn., 1758), Mus. St. Nat. Leiden; *Delphinapterus leucas* (Pallas, 1776), Mus. St. Nat. Leiden. Famiglia *Platanistidae*: *Pontoporia blainvillei* (D'Orbigny & Gervais, 1844), Mus. St. Nat. Genova.

Ordine Sirenia. Famiglia *Dugongidae*: *Dugong dugon* (Müller, 1776), Mus. St. Nat. Genova.

Le misure ottenute sono state elaborate secondo la formula di SLIJPER (1946)  $bh^2$  (dove  $b$  è la larghezza di ciascun corpo vertebrale e  $h$

---

(<sup>1</sup>) L'Autore desidera ringraziare il Prof. VanBree del Museo di Zoologia dell'Università di Amsterdam, il Prof. Smeenk del Museo di Storia Naturale di Leiden, la Dr.ssa Capocaccia, la Dr.ssa Arbocco ed il Dr. Poggi del Museo di St. Nat. di Genova, il Prof. Conci, il Dr. Schiavone ed in modo particolare il Dr. Cagnolaro del Museo di St. Nat. di Milano, per aver messo a disposizione con molta gentilezza tutto il materiale e l'assistenza necessari. Si desidera inoltre ringraziare la Prof.ssa Rizzotti-Agnes dell'Istituto di Anatomia degli Animali Domestici dell'Università di Milano per i preziosi consigli forniti.

la lunghezza) e trasposte in grafici. Confronti eseguiti da altri AA. (CAGNOLARO & NOTARBARTOLO DI SCIARA, 1979) hanno mostrato risultati assai simili ottenuti con il metodo adottato e con quello di OMURA (1971 a). I grafici sono stati raggruppati per famiglie e messi a confronto, sempre in relazione a fattori morfologici e biologici.

*Rilevamenti effettuati.*

Famiglia *Balaenidae* (Fig. 1). Il grafico si riferisce ad un solo esemplare, e mostra un andamento particolarmente uniforme e quasi simmetrico del tracciato. Probabilmente il segmento propulsorio è molto esteso, ed i maggiori valori della formula di SLIJPER sono a livello del primo tratto caudale. Le vertebre cervicali sono fuse in un blocco unico.

Famiglia *Balaenopteridae* (Fig. 2). I grafici delle specie appartenenti al genere *Balaenoptera* mostrano andamento simile, ed in particolare quelli di *B. musculus brevicauda* e *B. physalus*, mentre in *B. edeni* i maggiori valori di  $bh^2$  sono spostati in senso più craniale, analogamente a quanto avviene per *B. borealis* e *B. acutorostrata*. Diverso il grafico di *M. novaeangliae*.

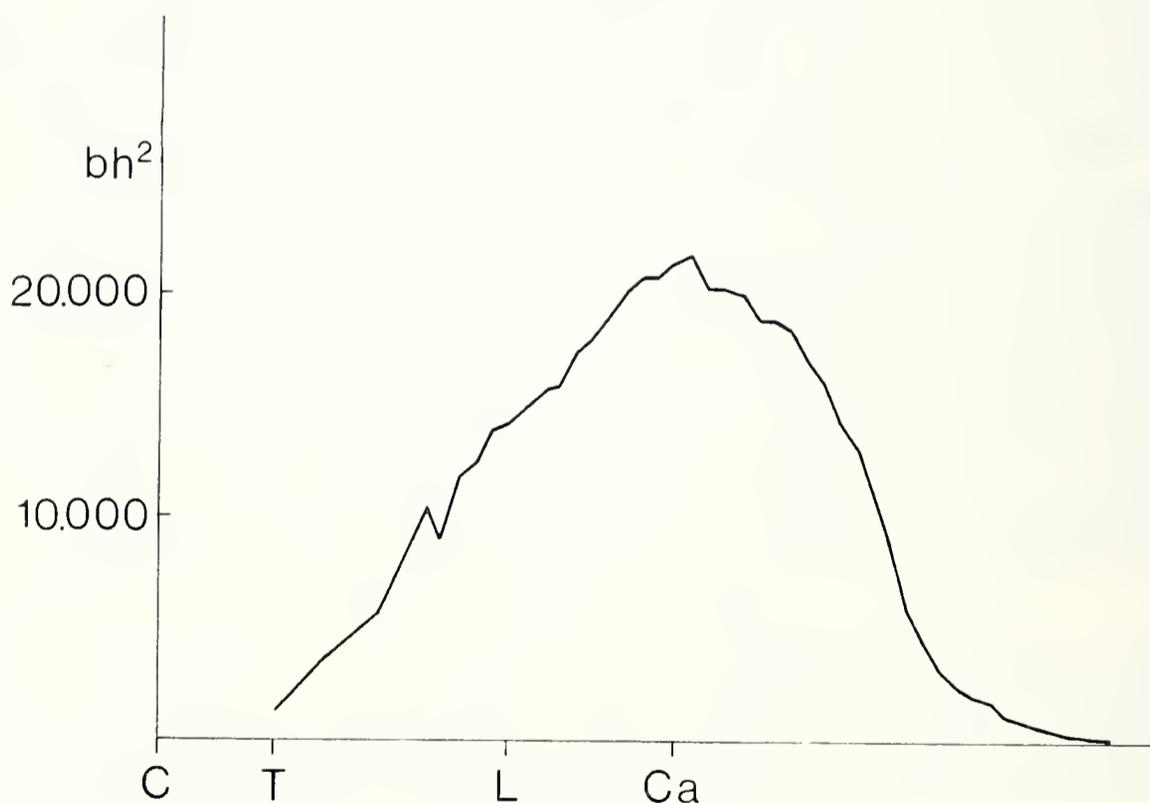


Fig. 1. — Famiglia *Balaenidae*. Grafico dei momenti di resistenza nella colonna vertebrale secondo la formula di Slijper (1946):  $bh^2$ ;  $b$  = larghezza dei corpi vertebrali;  $h$  = lunghezza dei corpi vertebrali. In ascissa vengono riportati i settori della colonna vertebrale secondo il loro naturale susseguirsi (C = v. cervicali, T = v. toraciche, L = v. lombari, Ca = v. caudali).

Graphic obtained according to Slijper's formula:  $b$  = breadth of each vertebral body,  $h$  = length of each vertebral body. C = cervical sector of vertebral column, T = thoracic sector, L = lumbar sector, Ca = caudal sector.

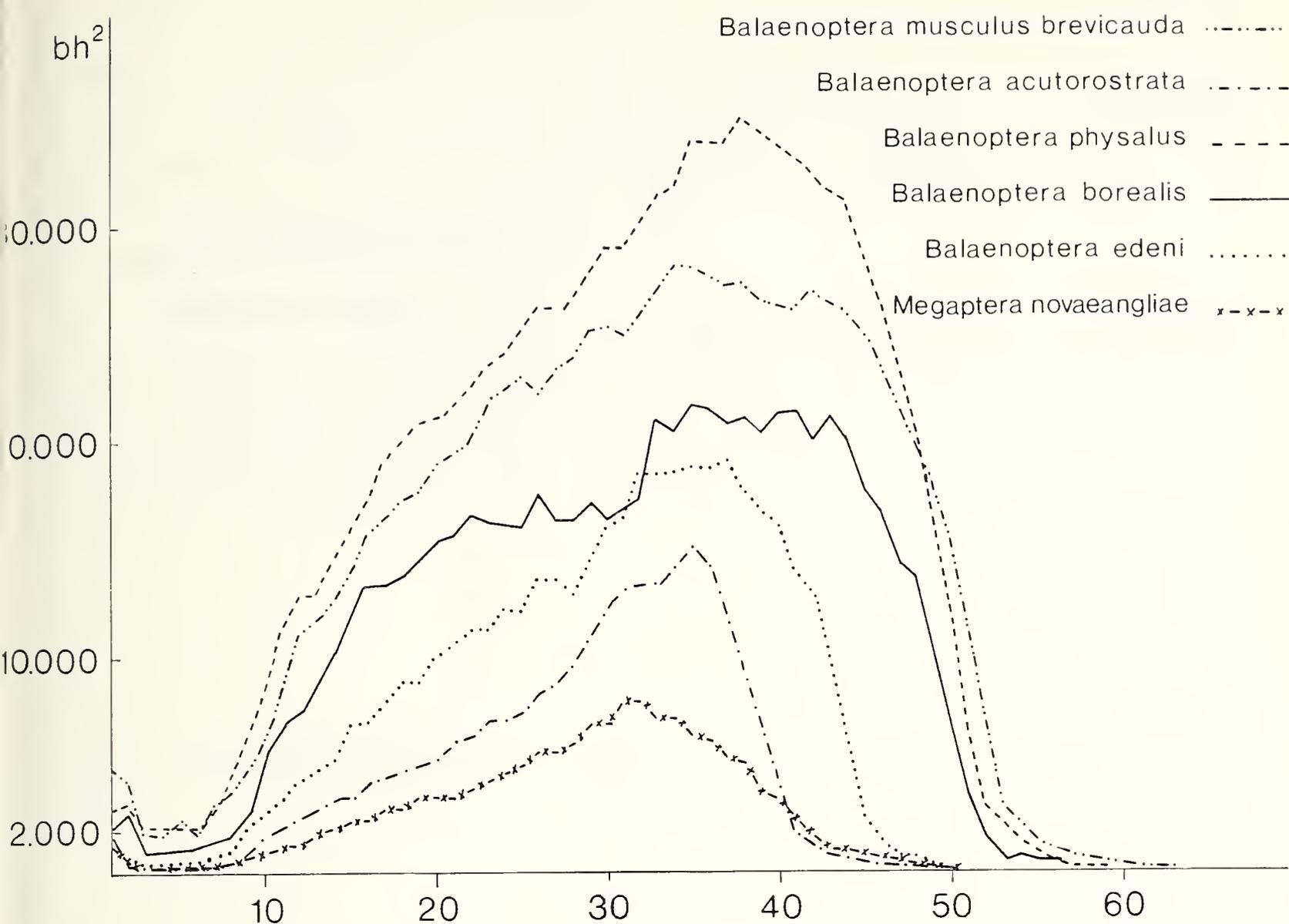


Fig. 2. — Famiglia Balaenopteridae.

Famiglia *Physeteridae* (Fig. 3). Gli appartenenti ai due generi di questa famiglia hanno dimensioni sensibilmente diverse, ed i grafici a loro relativi non sono confrontabili. I profili dei grafici sono anche dissimili in assoluto, a prescindere dalla grandezza delle vertebre.

Famiglia *Ziphiidae* (Fig. 4). Grande omogeneità viene ritrovata all'esame dei grafici di questa famiglia, i cui caratteri comuni sono l'andamento a « picco » del grafico e la riduzione del numero di vertebre. Con il crescere delle dimensioni dell'animale si sposta in senso craniale il gruppo di vertebre con i più alti valori della formula di SLIJPER.

Famiglia *Delphinidae*. E' necessario distinguere i Delfinidi a seconda della loro lunghezza:

a) Piccoli Delfinidi (meno di 4 m di lunghezza) (Fig. 5). Molto simili appaiono i grafici delle specie qui rappresentate; caratteristica comune è la presenza di due distinti « picchi » con i maggiori valori di  $bh^2$  a livello toracico e lombo-caudale. L'andamento del grafico è assai

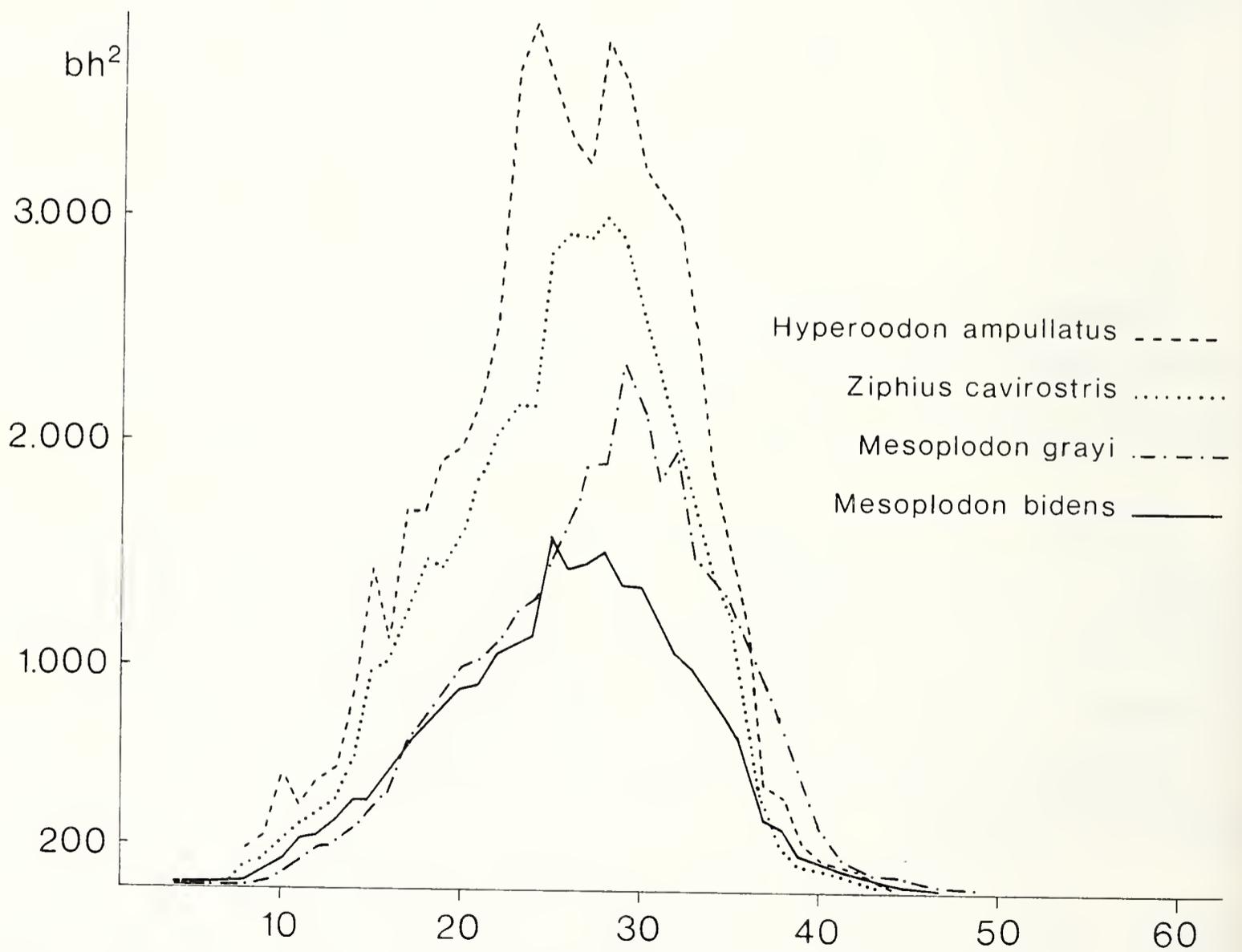
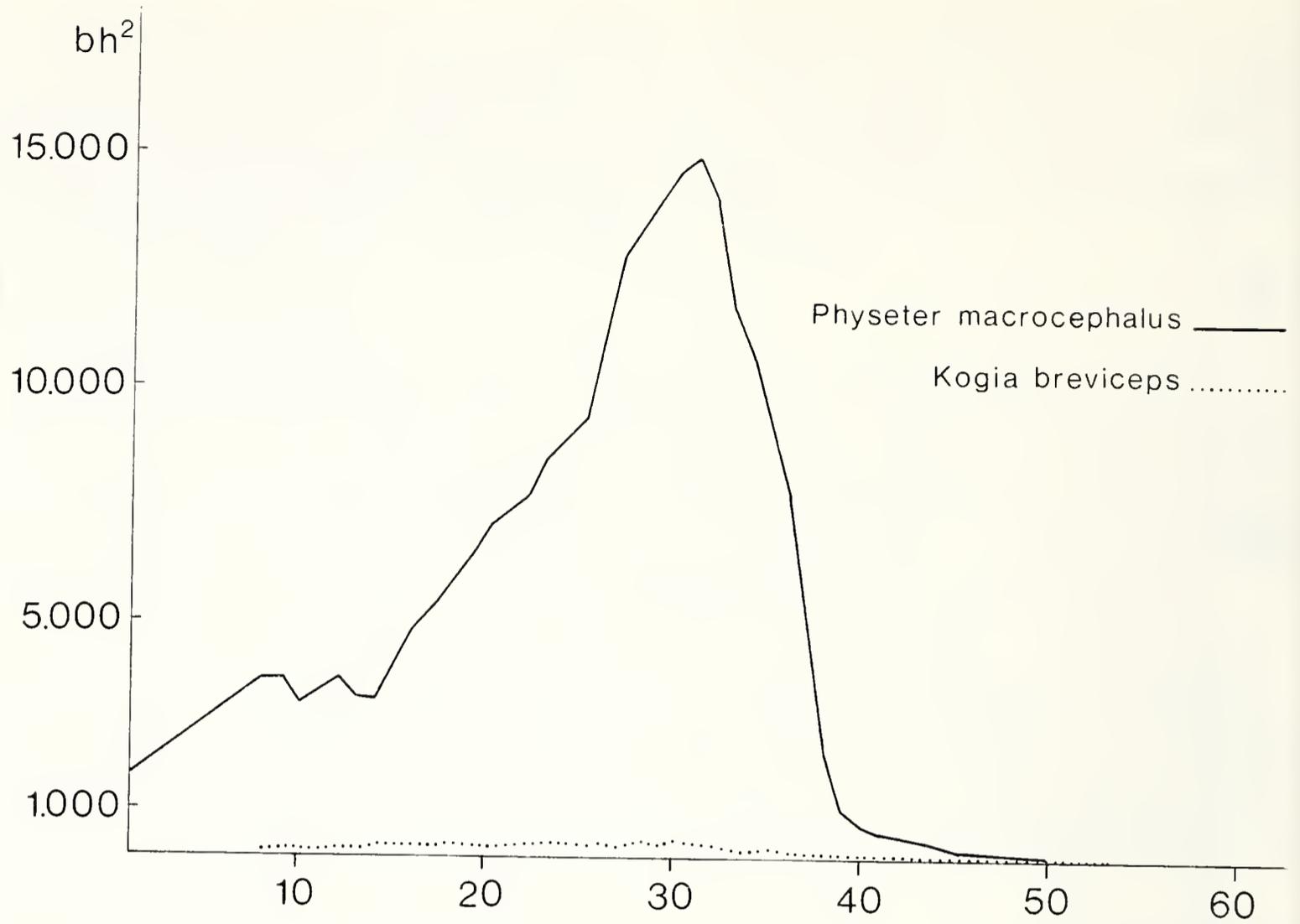


Fig. 3 (in alto). — Famiglia Physteridae. Fig. 4 (in basso). — Famiglia Ziphiidae.

discontinuo, le vertebre aumentano per numero e diminuiscono per dimensioni, a testimoniare un aumento della mobilità della colonna vertebrale. I grafici di *G. griseus* e *T. truncatus* sono quasi sovrapponibili, ed è da notare che sono conosciuti ibridi di queste due specie (FRASER 1939, citato da TOMILIN 1957). *L. albirostris* si discosta un poco dagli altri Delfinidi di piccola mole per l'elevato numero di vertebre (90), uno dei massimi dell'Ordine Cetacea.

b) Grandi Delfinidi (più di 4 m di lunghezza) (Fig. 6). Le differenze di valori in ordinata rendono difficile il confronto; il grafico relativo a *G. melaena* si mostra più simile ai piccoli Delfinidi di quello di *O. orca*. I tratti che mostrano i maggiori valori della formula di SLIJPER si trovano in entrambe le specie nel settore lombo-caudale.

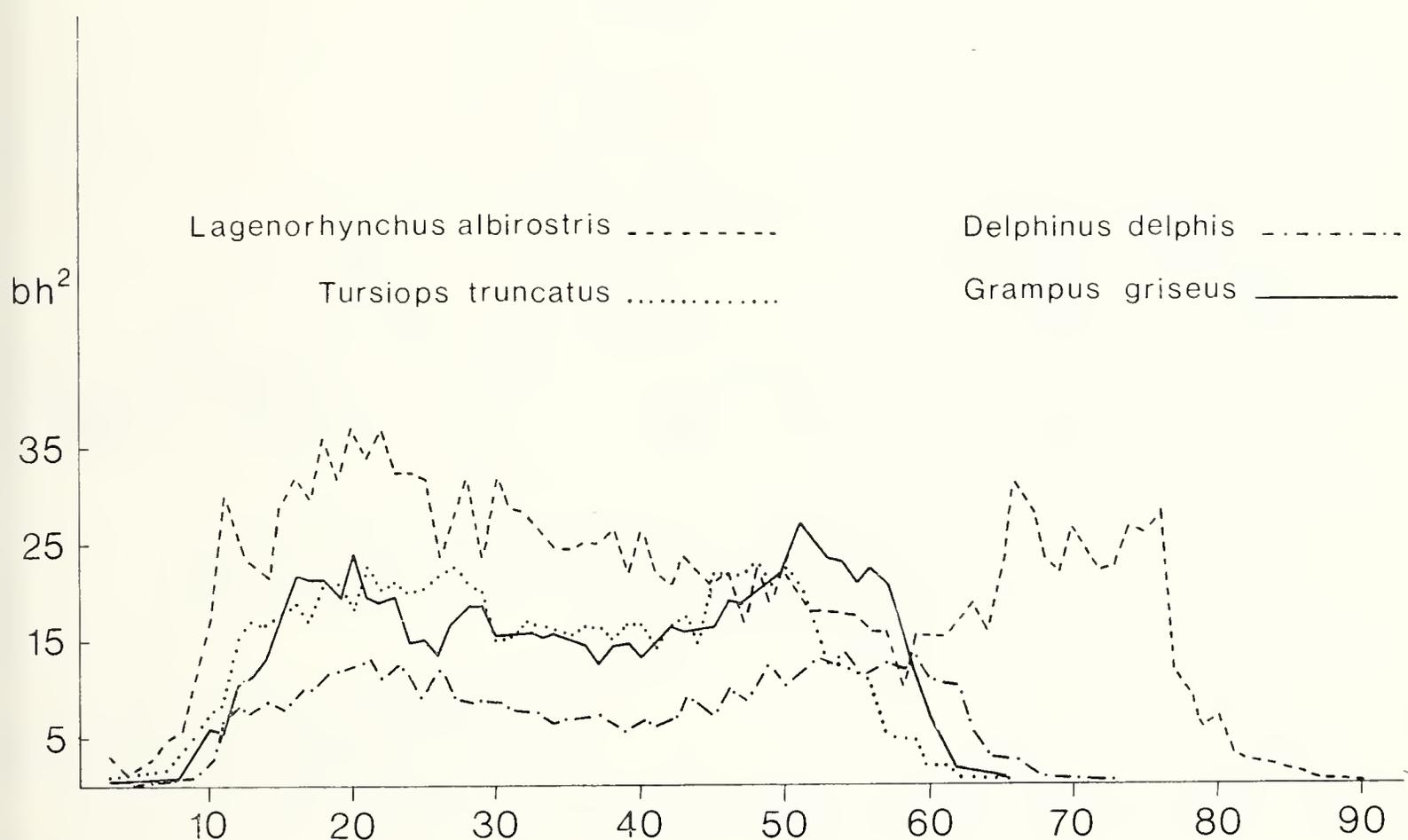


Fig. 5. — Famiglia Delphinidae (specie che non raggiungono i 4 m di lunghezza).

Famiglia *Monodontidae* (Fig. 7). La comparazione dei grafici rende ragione delle maggiori dimensioni di *M. monoceros* rispetto a *D. leucas* (almeno per quanto concerne gli esemplari esaminati). Entrambe le colonne vertebrali mostrano un costante ed ininterrotto aumento dei valori di  $bh^2$ , cui fa seguito una altrettanto costante flessione. Somiglianza viene ritrovata nel confronto con il grafico di *M. bidens* (ed in generale con gli *Ziphiidae* più piccoli), ed in parte con i grandi Delfinidi.

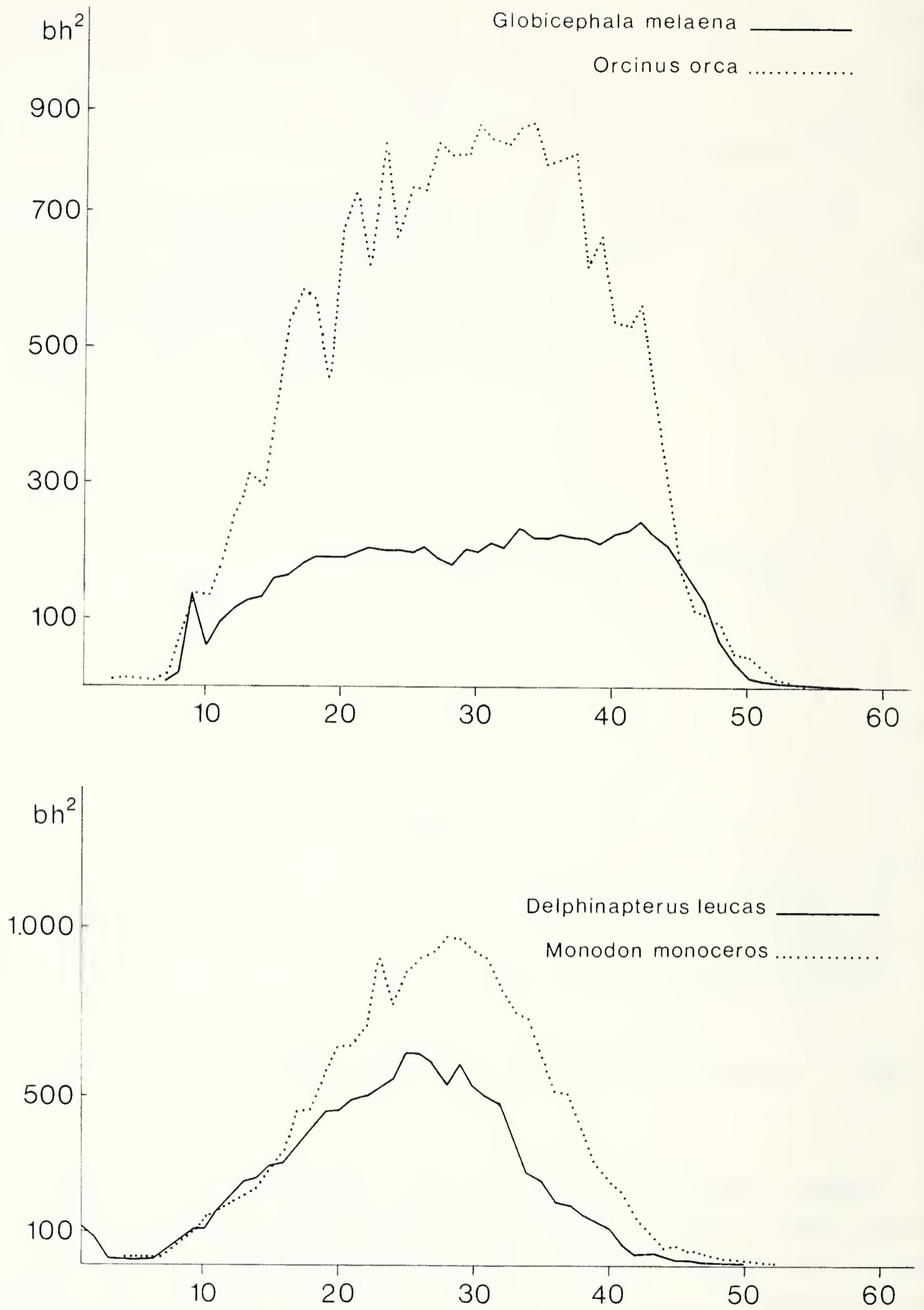


Fig. 6 (in alto). — Famiglia Delphinidae (specie che superano i 4 m di lunghezza).  
 Fig. 7 (in basso). — Famiglia Monodontidae.

Famiglia *Platanistidae* (Fig. 8). Caratteristica particolare è la riduzione del numero di vertebre toraciche (solo 6!) almeno per quanto riguarda *P. blainvillei*. La mobilità cervicale tipica dei *Platanistidae* non risulta dal grafico. Una certa somiglianza può essere vista con i piccoli Delfinidi.

Ordine Sirenia. Famiglia *Dugongidae* (Fig. 9). L'aspetto del grafico è abbastanza discontinuo, con un valore massimo di  $bh^2$  a livello della II<sup>a</sup> vertebra lombare. Tutto il tratto lombare mostra i maggiori valori della formula di SLIJPER, e presumibilmente comprende anche il settore più interessato agli sforzi della locomozione.

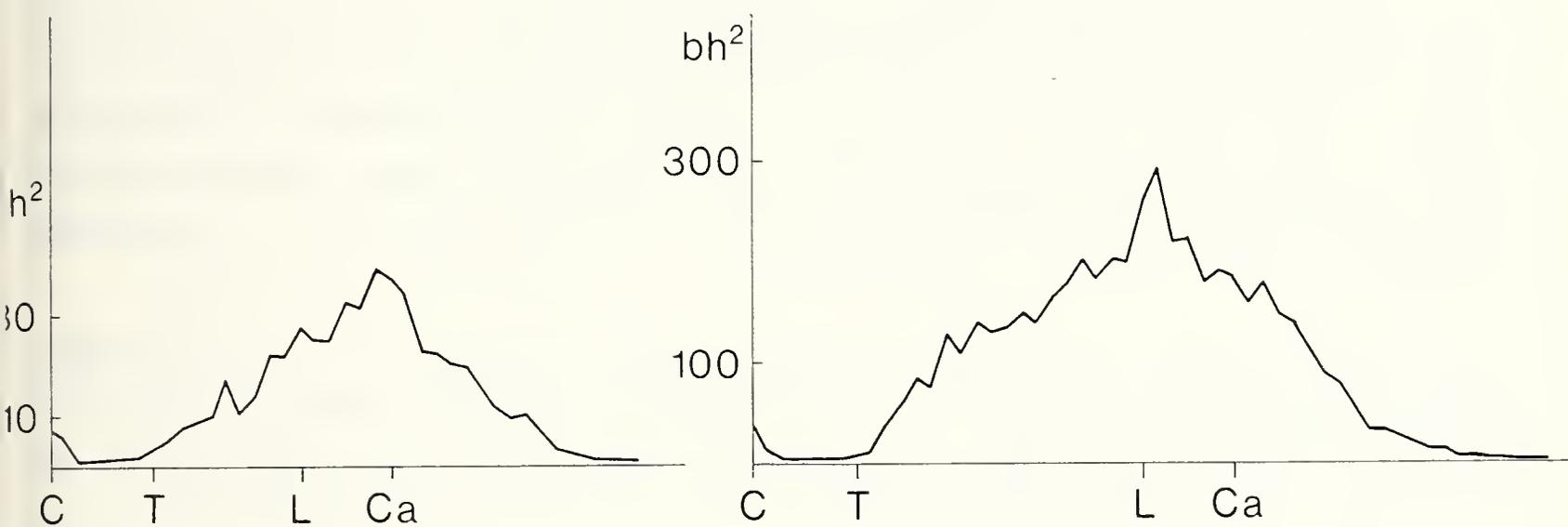


Fig. 8 (a sinistra). — Famiglia *Platanistidae*.

Fig. 9 (a destra). — Ordine Sirenia, Famiglia *Dugongidae*.

#### *Considerazioni conclusive.*

Nel complesso l'esame delle elaborazioni grafiche permette di affermare che la morfologia della colonna vertebrale nei Cetacei è costante all'interno delle famiglie, e significative analogie si presentano tra due diverse famiglie quando esistono più prossimi rapporti filitici. In alcuni casi (famiglia *Physeteridae*) si nota difformità nel comportamento dei tracciati, a parziale conferma di quanto sostenuto da alcuni AA. (NISHIWAKI 1972) circa la necessità di creare famiglie separate. Nel caso specifico del genere *Physeter* hanno inoltre grande importanza considerazioni di ordine dinamico, coinvolgendo il volume e le funzioni assunte dall'organo dello spermaceti nell'immersione (CLARKE 1979). In alcune specie (genere *Balaenoptera*) all'aumento delle dimensioni della specie corrisponde uno spostamento in senso caudale dei segmenti più significativi del grafico, che si può forse associare all'esigenza di una

più larga base d'inserzione della muscolatura di sostegno della pinna caudale. Nel caso di specie di piccole dimensioni aumenta il numero delle vertebre e se ne riduce il volume (piccoli Delfinidi), il che si può pensare risponda alle domande dinamiche di un nuoto rapido di superficie. Da non sottovalutare il possibile apporto delle pinne pettorali nella natazione in *O. orca*. Infine va notato che animali con capacità di immergersi a grande profondità hanno profili dei grafici simili (fam. *Ziphiidae*, fam. *Monodontidae*).

Nei Sirenî la colonna vertebrale si presenta morfologicamente diversa, come diversa è la dinamica natatoria rispetto ai Cetacei.

Una classificazione dei tipi morfologici del rachide desunta dall'analisi dei grafici ottenuti con la formula di SLIJPER viene qui riportata.

a) Colonna vertebrale (c. v.) con grande numero di vertebre, il cui andamento nel grafico si mostra uniforme e continuo, senza brusche variazioni dimensionali tra una vertebra e l'altra: corrisponde a Cetacei di grande mole dal nuoto prolungato a velocità modesta (*Balaenidae*) o medio-alta (*Balaenopteridae*), con regime alimentare costituito da plancton e pesce.

b) C. v. con un numero di vertebre da 40 a 60 circa, con andamento a « picco » del grafico: corrisponde a Cetacei capaci di immergersi a grande profondità per raggiungere i molluschi cefalopodi di cui si nutrono (*Ziphiidae*, *Monodontidae*, *Physeteridae* genere *Physeter*).

c) C. v. Con andamento molto discontinuo del grafico.

c1) Con un grande numero di vertebre, o comunque con la presenza di più tratti che raggiungono i massimi valori della formula di SLIJPER: corrisponde a Cetacei delfiniformi di piccole dimensioni, con nuoto di tipo superficiale e regime alimentare per lo più ittiofago (es. piccoli *Delphinidae*, *Physeteridae* genere *Kogia*).

c2) Come c1), con minor numero di vertebre e maggior volume relativo dei singoli corpi vertebrali: corrisponde a Cetacei di media mole, capaci di nuoto prolungato, a volte molto veloce (grandi *Delphinidae*), con regime alimentare ittiocarnivoro.

c3) C. v. Con andamento assai discontinuo nel grafico, ulteriore riduzione del numero di vertebre, di ridotte dimensioni: corrisponde a Cetacei di fiume agili ma poco veloci, con minima capacità di immersione (*Platanistidae*).

c4) Come c3), ma con forte diminuzione del numero di vertebre lombari: corrisponde a Mammiferi marini il cui nuoto si compie con l'ausilio delle pinne pettorali, senza immersioni di una certa portata (*Dugongidae*).

## BIBLIOGRAFIA

- ARVY L., 1976 - Some critical remarks on the subject of the Cetacean « girdles » - *Investigations on Cetacea*, Bern, 7, pp. 179-186.
- ARVY L., 1979 - The abdominal bones of Cetaceans - *Investigations on Cetacea*, Bern, 10, pp. 215-227.
- CAGNOLARO L., 1977 - Lo scheletro di *Balaenoptera physalus* esposto al Museo Civico di Storia Naturale di Milano. Studio osteometrico - *Natura*, Milano, 68 (1-2), 33-64.
- CAGNOLARO L. & NOTARBARTOLO DI SCIARA G., 1979 - Su di uno scheletro di *Balaenoptera edeni* spiaggiato sulle coste caraibiche del Venezuela - *Natura*, Milano, 70 (4), 265-274.
- CLARKE M. R., 1979 - La testa del Capodoglio - *Le Scienze*, Milano, 127, 98-113.
- DE SMET W. M. A., 1977 - The Regions of the Cetacean Vertebral Column - Functional Anatomy of Marine Mammals, *Academic Press*, London-N.Y., 3, 59-80.
- FRASER, 1939, citato da TOMILIN 1957.
- GRASSÈ P., 1958 - *Traité de Zoologie* - Tomo XVI, 1° fasc., 642-672.
- HOSOKAWA H., 1951 - On the Pelvic Cartilages of the *Balaenoptera* Foetuses, with Remarks on the specific and sexual differences - *Sci. Rep. Whale Res. Inst.*, Tokyo, 5, 5-15.
- NISHIWAKI M., 1972 - General Biology, in *Mammals of the Sea - Biology and Medicine*, *Ridgway S. H. ed.*, Thomas, Illinois, 3-204.
- OMURA H., NISHIWAKI M., ICHIHARA T. & KASUYA T., 1962 - Osteological note of a Sperm Whale - *Sci. Rep. Whale Res. Inst.*, Tokyo, 16, 35-45.
- OMURA H., ICHIHARA T. & KASUYA T., 1970 - Osteology of Pygmy Blue Whale with additional information on external and other characteristics - *Sci. Rep. Whale Res. Inst.*, Tokyo, 22, 1-27.
- OMURA H., 1971 a - A Comparison of the Size of Vertebrae among Species of Baleen Whales with special references to Whale movements - *Sci. Rep. Whale Res. Inst.*, Tokyo, 23, pp. 61-69.
- OMURA H., NISHIWAKI M. & KASUYA T., 1971 b - Further Studies on two skeletons of the Black Right Whale in the North Pacific - *Sci. Rep. Whale Res. Inst.*, Tokyo, 23, pp. 71-81.
- OMURA H., 1975 - Osteological Study of the Minke Whale from the Antarctic - *Sci. Rep. Whale Res. Inst.*, Tokyo, 27, pp. 1-36.
- SLIJPER E. J., 1946 - Comparative Biologic-Anatomical Investigations on the Vertebral Column and Spinal Musculature of Mammals - *Kon. Ned. Akad. Wet. Verh.* (Tweede Sectie), 42 (5), pp. 1-128.
- TOMILIN A. G., 1957 - *Mammals of the U.S.S.R. and adjacent Countries*, IX, Cetacea - (Trad. dal russo *I.P.S.T.*, Jerusalem, 1967).
- VAN BENEDEEN M. P. J. & GERVAIS P., 1868 - *Ostéographie des Cétacés vivants et fossiles. Texte* - *Berthrand*, Paris.